

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
**KATEDRA VÝROBNÍCH STROJŮ A KONSTRUOVÁNÍ**

**Poruchy mechanizované výztuže GLINIK 06/15-POzS  
nasazené na Dole Paskov a návrhy na jejich odstranění**

Malfunfunctions of mechanising reinforcement GLINIK 06/15-POzS placed  
in Paskov Coal Mine and suggestions how to eliminate them

Autoreferát disertační práce

Školící pracoviště: VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní,  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Školitel: prof. Ing. Horst Gondek, CSc.

Doktorand: Ing. Tomáš Kubín

Studijní program: P23 01, Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302V019, Stavba výrobních strojů a zařízení

Oponenti: Prof.dr hab. inż. Stanisław Szweda, Polytechnika Śląska, Wydział  
Górnictwa i Geologii, Institut Mechanizacji Górnictwa

Prof. Ing. Daniela Marasová, CSc. Technická univerzita Košice,  
Ústav logistiky priemyslu a dopravy

Doc. Ing. Arnošt Ševčík, CSc. Vysoká škola báňská – Technická  
univerzita Ostrava, Fakulta strojní (v důchodu)

Ostrava 2011



© Ing. Tomáš Kubín

ISBN 978-80-248-2467-3



## Anotace

Kubín, T.: Poruchy mechanizované výztuže GLINIK 06/15-POzS nasazené na Dole Paskov a návrhy na jejich odstranění, *VŠB – TU Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování*, 2011. 40 str. Autoreferát disertační práce.

Disertační práce se zabývá analýzou příčin a řešením problémů, které se vyskytly při nasazení mechanizované výztuže GLINIK 06/15-POzS na závodě Staříč Dolu Paskov OKD, a.s. Jedná se o dvě závady, které se na této výztuži objevily ještě v záruční době. V obou případech jde o poruchu na hydraulickém zařízení. Od počátku nasazení docházelo k poškozování „rohových válců“, které slouží k ovládání a naklápění stropnice. Při řešení tohoto problému bylo využito jedné z nových metod reverzního inženýrství – 3D skenování objektů a následné zpracování dat pro převod do CAD modelu. V práci je odhalena příčina poškozování rohových válců a navrženo řešení v podobě konstrukční úpravy.

## Annotation

Kubín, T.: Malfunctions of mechanising reinforcement GLINIK 06/15-POzS placed in Paskov Coal Mine and suggestions how to eliminate them, *VŠB – TU Ostrava, Department of production machina and design*, 2011, 40 str. *Doctoral thesis*.

The dissertation deals with the analysis of causes and solutions of problems that occurred during placing the mechanising reinforcement GLINIK 06/15-PozS at the facility Staříč of the coal mine Paskov OKD,a.s. They are two malfunctions that emerged on this reinforcement in the guarantee. In both cases it is a malfunction of the hydraulic mechanism. Since the beginning of the placing “corner cylinders” that serve as a joist controlling and tipping would be damaged. One of new methods concerning the reverse engineering, which is 3D scanning and subsequent processing of data for transfer to CAD model was used to solve this problem. The dissertation reveals the cause of corner cylinders damaging and there is suggested the solution in the form of construction adjustment.



## Obsah

Úvod .....	5
<b>1 TECHNICKÁ A PROVOZNÍ CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU A PROVOZOVÁNÍ MECHANIZOVANÉ VÝZTUŽE GLINIK.....</b>	<b>6</b>
1.1 Funkce a provoz výztuže .....	6
1.2 Parametry mechanizované výztuže Glinik 06/15-POzS.....	8
<b>2 ANALÝZA ZÁVAD MECHANIZOVANÉ VÝZTUŽE GLINIK .....</b>	<b>9</b>
2.1 Poruchy rohových válců .....	9
2.2 Porucha hydraulické stojky .....	13
<b>3 CÍLE DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>14</b>
<b>4 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ROHOVÝCH VÁLCŮ.....</b>	<b>15</b>
4.1 Digitalizace mechanizované výztuže .....	17
4.2 Zpracování naměřených dat v softwaru Geomagic Studio 12 .....	18
4.3 Rekonstrukce deformované části závalového štítu .....	24
4.4 Definování poškození rohového válce v CAD modelu.....	25
4.5 Řešení – navržení konstrukčních úprav.....	26
4.6 Doporučení aplikovatelná v praxi.....	29
<b>5 ANALÝZA PROBLEMATIKY HYDRAULICKÉ STOJKY.....</b>	<b>30</b>
5.1 Určení materiálových vlastností pláště hydraulické stojky .....	31
5.2 Výsledky výpočtu pomocí MKP .....	31
5.3 Zhodnocení výpočtu .....	33
5.4 Význam výsledků pro praxi a doporučení dalšího postupu.....	33
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>34</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>36</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>38</b>
<b>Seznam vlastních prací.....</b>	<b>39</b>
<b>Životopi.....</b>	<b>40</b>
<b>Curriculum vitae .....</b>	<b>40</b>



## Úvod

Mechanizovaná výztuž, která je předmětem této disertační práce, je nasazená na závodě Staříč Dolu Paskov společnosti OKD, a.s.

Počátkem roku 2005 byl na Důl Paskov zakoupen dobývací komplex pro nízké sloje ( $75 \div 1,5$  metru). Základ tvoří pluhové zařízení s porubovým hřeblovým dopravníkem a mechanizovaná hydraulická výztuž. Soustavu pluh a hřeblový dopravník vyrobila a dodala německá firma *Deutsche Bergbau-Technik*. Polský výrobce důlní techniky *Glinik* dodal mechanizovanou výztuž. Celý dobývací komplex je ovládán v plně automatickém režimu z centrální důlní ústředny.

Do plného provozního režimu byl komplex nasazen v dubnu 2005. Dobývaný porub měl mocnost 1,1 metru a délku 192 metrů. Již od počátku dokázal tento komplex těžít denně průměrně 1500 tun kvalitního koksovatelného uhlí. Od prvního nasazení začali pracovníci v porubu zaznamenávat poruchy na rohových válcích mechanizované výztuže GLINIK 06/15-POzS. Závada byla zprvu popsána jako vysunutí ucpávky s těsnicí manžetou z pístnice. Mocnost těžené sloje, která se pohybovala pod hranicí jednoho metru, znesnadňovala přístup pracovníkům údržby k rohovým válcům. Opravy se staly časově velmi náročné, mnohdy zcela nemožné. Odhalit a jasně pojmenovat příčinu se pracovníkům nedařilo. Tato porucha se v průběhu dvou let objevila téměř na 80 sekcích. Reklamace u výrobce se setkaly se stanoviskem, že příčinou je nedodržení pracovního úhlu stropnice. Provozovatel s tímto tvrzením nesouhlasil. Spor se stal podnětem k zadání této disertační práce.

Od počátku řešení dané problematiky byla hlavní komplikací přístupnost výrobní dokumentace. Firma DBT ITIEN-BRIEDEN NERGER, která zajišťovala dodávku celého komplexu a byla zároveň i iniciátorem zadání této práce, se zaručila osobou pana Ing. Mochla, Ph.D. (ředitel firmy), že požadovanou dokumentaci od firmy GLINIK zajistí. Jeho náhlou smrtí se celá práce dostala do patové situace. Při osobním oslovení firmy GLINIK, byly veškeré žádosti o informace a data zamítnuty. Vstupními podklady se tak staly pouze záznamy od provozovatele, technicko-provozní dokumentace a možnost provádění měření na jednotlivých částech výztuže.

Nová situace ovlivnila celé řešení práce a dala impuls k uplatnění jedné z metod reverzního inženýrství, která byla přizpůsobena charakteru důlního zařízení.



# 1 TECHNICKÁ A PROVOZNÍ CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU A PROVOZOVÁNÍ MECHANIZOVANÉ VÝZTUŽE GLINIK

Počátečním předpokladem pro řešení práce je fakt, že parametry použité mechanizované výztuže odpovídají důlně geologickým a provozně technickým podmínkám na Dole Paskov.

## 1.1 Funkce a provoz výztuže

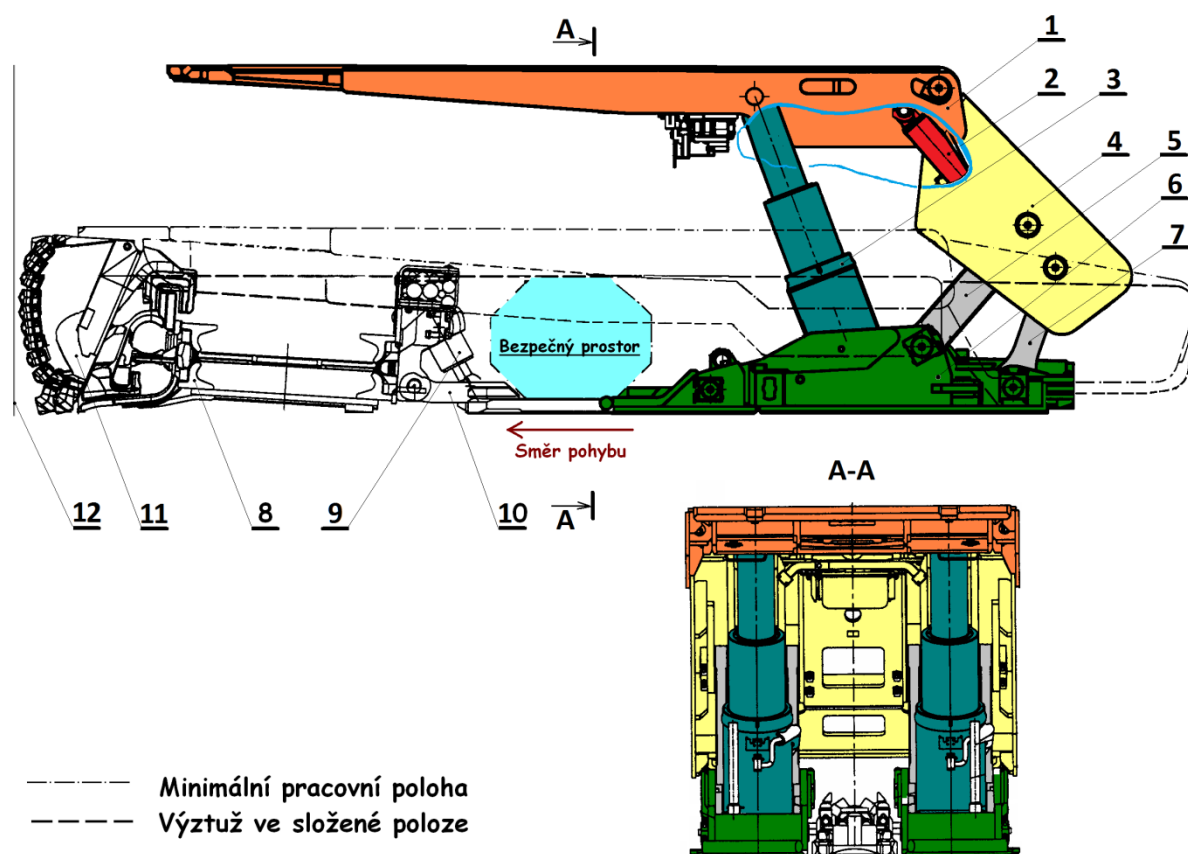
V dobývacím pluhovém komplexu mechanizovaná výztuž spolupracuje s pluhem a porubovým (stěnovým) dopravníkem. V případě, že se pluhová souprava použije v úklonech, které jsou větší než předepsané, musí se k výztuži připojit přidavné stabilizační nebo kotvící zařízení.

Obecnou základní funkcí důlní výztuže je dostatečně zabezpečit udržovaný prostor porubu proti vypadávání částí masívu z nadloží a uhelné sloje. V našich podmínkách, kde dobýváme sloje na řízený zával, používáme především mechanizované výztuže podpěrně ohrazující (to je i případ Gliniku 06/15-POzS). Jejich konstrukce zajišťuje podepření stropu a zároveň chrání prostor za porubovým dopravníkem proti proniknutí závalu či základky z prostor za postupující výztuží. Další podstatnou funkcí je realizace řízeného pohybu celého dobývacího komplexu. Komplex tak dokáže kopírovat uhelnou sloj, a to jak ve vertikálním tak v horizontálním směru.

Mechanizovaná výztuž GLINIK (obr. 1) pracuje převážně v pravidelných cyklech. V jeho začátku je výztuž přisunuta k porubovému hřeblovému dopravníku (poz. 8). Vzájemné spojení je realizováno prostřednictvím přesouvacího hydraulického válce (poz. 10) a naklápěcího válce (poz. 9). Samotný dopravník je přisunut k porubní stěně. Mechanizovaná výztuž je prostřednictvím hydraulické stojky (poz. 3) rozepřena mezi stropem a počvou. Vzniká výchozí stav pro pluh, který je připraven k provedení řezu. Po průjezdu pluhového tělesa (poz. 11) podél pilíře je dopravník přitlačen přesouvacím válcem do stěny (poz. 12). Opakováním průjezdu pluhového tělesa a přitlačením výztuže může být provedeno několik pokosů (řezů). V závislosti na existujících důlně geologických podmínkách v porubu



může být sekce výztuže přesunuta k dopravníku po několika pokosech až do plného vysunutí přesouvacího hydraulického válce. Počet průjezdů je závislý na definované velikosti třísky. Posunutí výztuže je prováděno pomocí změny režimu ovládání přesouvacího zařízení na funkci přeložení výztuže. Dopravník je posouván ve směru postupu porubu prakticky všemi sekcemi výztuže současně. Prostřednictvím řízeného posouvání dochází k řízení komplexu v horizontální rovině (popřípadě v rovině pod úklonem). Ke kopírování počvy ve vertikálním směru dochází prostřednictvím naklápěcího hydraulického válce. Ovládání a přizpůsobení mechanizované výztuže ve vertikálním směru zajišťuje rohový válec (poz. 2).



**Obr. 1** Základní části mechanizované výztuže Glinik 06/15-POzS

1 – stropnice; 2 – rohový válec; 3 – hydraulická stojka; 4 – závalový štít;  
5 – přední táhlo; 6 – základový rám (pata); 7 – zadní táhlo; 8 – porubový (stěnový) hřeblový dopravník; 9 – naklápěcí hydraulický válec; 10 – přesouvací hydraulický válec;  
11 – pluhové těleso; 12 – uhelná stěna.



## 1.2 Parametry mechanizované výztuže Glinik 06/15-POzS

Mechanizovaná výztuž GLINIK 06/15-POzS (dále bude uváděno zkráceně MV GLINIK) je typem podpěrně ohrazující hydraulické výztuže, určené pro dočasné zajišťování stropu vyuhlených prostor. Je vhodná pro nadloží bořivá a pravidelně se zavalující. Konstrukčně je navržena pro pluhové dobývání na řízený zával. Používá se zejména pro poruby uložené v ploše. Dovolený podélný úklon stěny je do 12°. V případě větších úklonů je zapotřebí použít přídatné kotvící zařízení (podélný úklon stěny je limitován na 35°). Příčný úklon stěny musí být v rozmezí  $\pm 20^\circ$ . Svým pracovním rozsahem je výztuž určena pro nízké sloje. Nejmenší provozní výška výztuže je 750mm a je tak o 50mm pod minimální hodnotou, kterou nařizuje vyhláška Českého báňského úřadu (ČBU). Maximální těžená mocnost sloje je 1500mm.

Obecně lze technické parametry shrnout (pro přehlednost) do následující tabulky 1.

**Tab. 1** Technické parametry mechanizované výztuže GLINIK

<b>Technické parametry mechanizované výztuže GLINIK 06/15-POzS</b>			
	<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Poznámka</b>
1.	Minimální výška výztuže	0,6 m	
2.	Maximální výška výztuže	1,5 m	
3.	Provozní výška výztuže	0,75÷1,5 m	Vyhláška ČBU - min.0,8 m
4.	Podélný úklon stěny	do 12°	S přídatným zařízením - 35°
5.	Příčný úklon stěny	$\pm 20^\circ$	
6.	Rozteč výztuže	1,5 m	
7.	Počet hydraulických stojek	2ks	
8.	Krok výztuže	0,75 m	
9.	Max. jednotkový tlak na strop	0,8÷1,2 MPa	Přesně – 0,767÷1,183 MPa
10.	Max. jednotkový tlak na počvu	1,9÷2,6 MPa	
11.	Únosnost výztuže	2504÷3743 kN	
12.	Odpor sekce výztuže	482÷666 kN/m <sup>2</sup>	
13.	Únosnost hydraulické stojky	2124 kN	
14.	Síla pro přesunutí sekce	297 kN	
15.	Síla pro přesunutí dopravníku	161 kN	
16.	Napájecí pracovní tlak	32 MPa	
17.	Nastavení pojistných ventilů	40 MPa	
18.	Hmotnost sekce	7700 kg	
19.	Hydraulická kapalina	HFAE	Dle ISO 7745:1989
20.	Ovládání sekce	-	Elektrohydraulické





## 2 ANALÝZA ZÁVAD MECHANIZOVANÉ VÝZTUŽE GLINIK

V úvodu této práce byly zkráceně popsány závažné závady, které se na MV GLINIK vyskytly. V této části práce bude charakter závad na hydraulických komponentech popsán podrobně (vzhledem k možnostem). Představeny budou dvě závady. První se začala objevovat od počátku nasazení na Dole Paskov a druhá po dvouletém provozování. Jedná se o dvě rozdílná poškození mechanizované výztuže, které spolu s velkou pravděpodobností nesouvisí. V dalších kapitolách budou proto řešeny odděleně.

### 2.1 Poruchy rohových válců

První závada, která se na MV GLINIK vyskytla, byla porucha rohového válce. Z počátku se jednalo pouze o vytrhávání ucpávek. Slovo pouze je na místě, protože další závady již byly neopravitelné. Výztuž byla poprvé nasazena v porubu o průměrně těžené výšce sloje 1,1 metru. Vzhledem k možnému pracovnímu rozsahu výztuže se jednalo o střední hodnotu (MV GLINIK je dimenzovaná pro zajišťování stropu od 0,75 metru do výšky 1,5 metru).

Vytržená ucpávka vyřadila rohový válec zcela z provozu. Na každé výztuži jsou umístěny dva rohové válce zapojené v hydraulickém obvodu paralelně. Výztuž tím pádem přišla o možnost naklápět stropnicí a při přesunech kopírovat strop. Samotná funkce výztuže (zajišťovat pracovní prostor) nebyla touto závadou narušena. Pokračování v těžbě bylo i s takto poškozenou výztuží možné. V ideálních těžebních podmínkách (souvislý, rovný, pravidelně se zavalující strop) pracuje i poškozená výztuž v běžném pracovním režimu. V opačném případě docházelo ze strany obsluhy k dodatečným úkonům.

Když se dobývací komplex dostal do sloje o průměrné mocnosti 0,95 metru, přidala se k vytrhávání ucpávek i trvalá deformace ok pístnic, ohnutí pístů nebo odlomení dna pístnice.

Při zkoumání příčin poškození válců bylo prohlédnuto a zaznamenáno 48 kusů poškozených rohových válců. Skutečný počet poškozených válců byl mnohem vyšší. Za první dva roky provozu přesáhl počet zničených válců osmdesát kusů. Při zkoumání poškození byly rohové válce rozděleny do tří skupin.

## První skupina

Do první skupiny byly zařazeny válce, které nemají na pístnici znatelná poškození. Pro tuto skupinu je příznačné, že k poškození došlo vytržením ucpávky (vytržení pístu z pístnice) bez vnějších znaků kolize. Výskyt tohoto typu poškození byl 25% ze zaznamenaných válců. Na obrázku 2 je jeden typický válec ve dvou pohledech.



**Obr. 2** Rohový válec - charakterizující první skupiny poškození



**Obr. 3** Rohový válec - představitel druhé skupiny poškození



**Obr. 4** Rohový válec - představitel druhé skupiny poškození, bez vytržené ucpávky



## Druhá skupina

Typický představitel rohového válce zařazeného do druhé skupiny je vidět na obrázku (obr. 3). Jedná se opět o jeden válec vyfocený ve dvou pohledech. Do druhé skupiny byly zařazeny válce, které měly poškozené oko pístnice, konkrétně zdeformované ohybem. Oproti válcům z první skupiny je na každé pístnici výrazná stopa po kontaktu se závalovým štítem. Vyskytly se zde případy, kdy nebyla ucpávka vytržena (viz. obr. 4), nebo případy, kdy byl válec s vytaženou pístnicí ohnutý do oblouku. Opět s neporušenou ucpávkou.

## Třetí skupina

Poslední skupina poškozených rohových válců je charakteristická zcela odděleným (odlomeným) dnem pístnice. Na oku pístnice lze pozorovat značnou deformaci po předešlém ohybu. Také na všech pístnicích je patrný výrazný znak po kolizi s jinou částí mechanizované výztuže. Odtržení dna pístnice je vidět na následujícím obrázku (obr. 5). Téměř u všech rohových válců zařazených do třetí skupiny nedošlo k vytržení ucpávek. Podobně je tomu u rohového válce na následující fotografii (obr. 6).



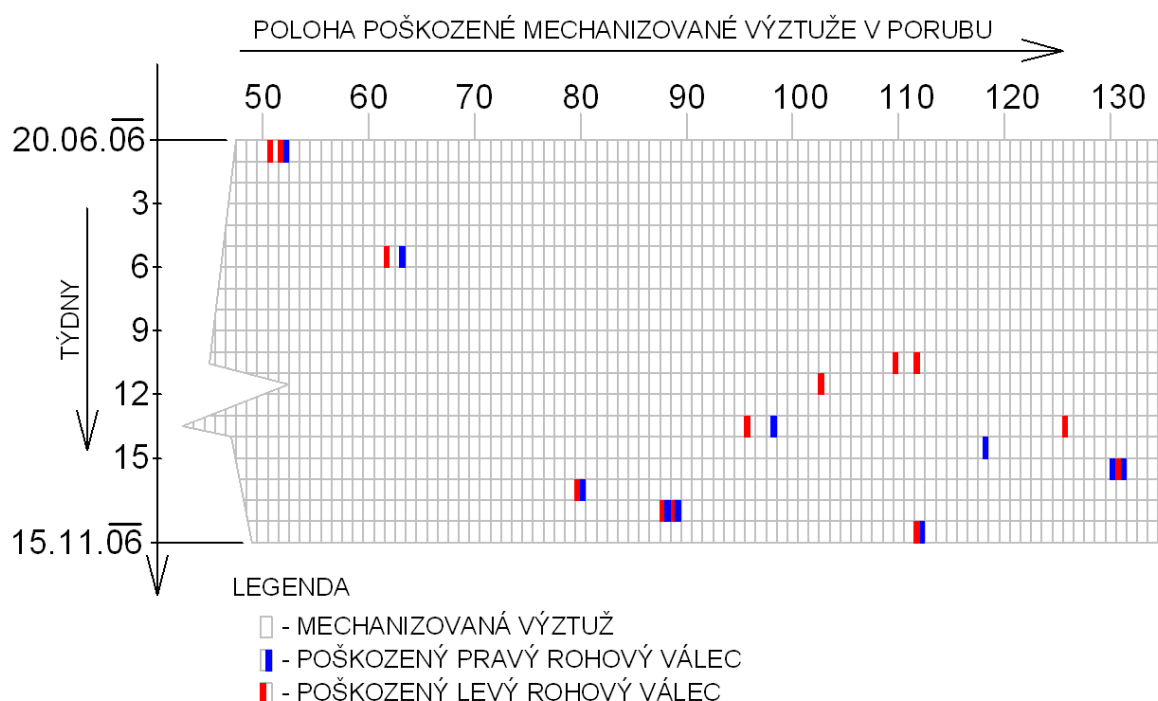
**Obr. 5** Pístnice rohového válce - představitel třetí skupiny poškození



**Obr. 6** Pístnice rohového válce - představitel třetí skupiny, bez poškozené ucpávky.



Představu o četnosti, s jakou k poruchám na rohových válcích docházelo, si lze udělat ze záznamů údržby na Dole Paskov. Za vybrané období osmnácti týdnů (od 20.06.2006 do 15.11.2006) došlo k opravě třiadvaceti rohových válců. Na obrázku 7 je graficky znázorněna četnost výměn v čase a poloha daných válců v porubu. Bohužel v záznamech nejsou konkrétní čísla válců. Není proto možné určit, k jaké poruše v daném místě došlo. Dobývací komplex se v tomto období pohyboval v mocnostech pod jeden metr. Od počátku roku 2006 až po znázorněné období nedošlo k žádné opravě rohového válce. Zároveň těžená mocnost se pohybovala kolem 1,1 metru.



**Obr. 7** Výskyt poškozených rohových válců za období 20.06.2006 až 15.11.2006

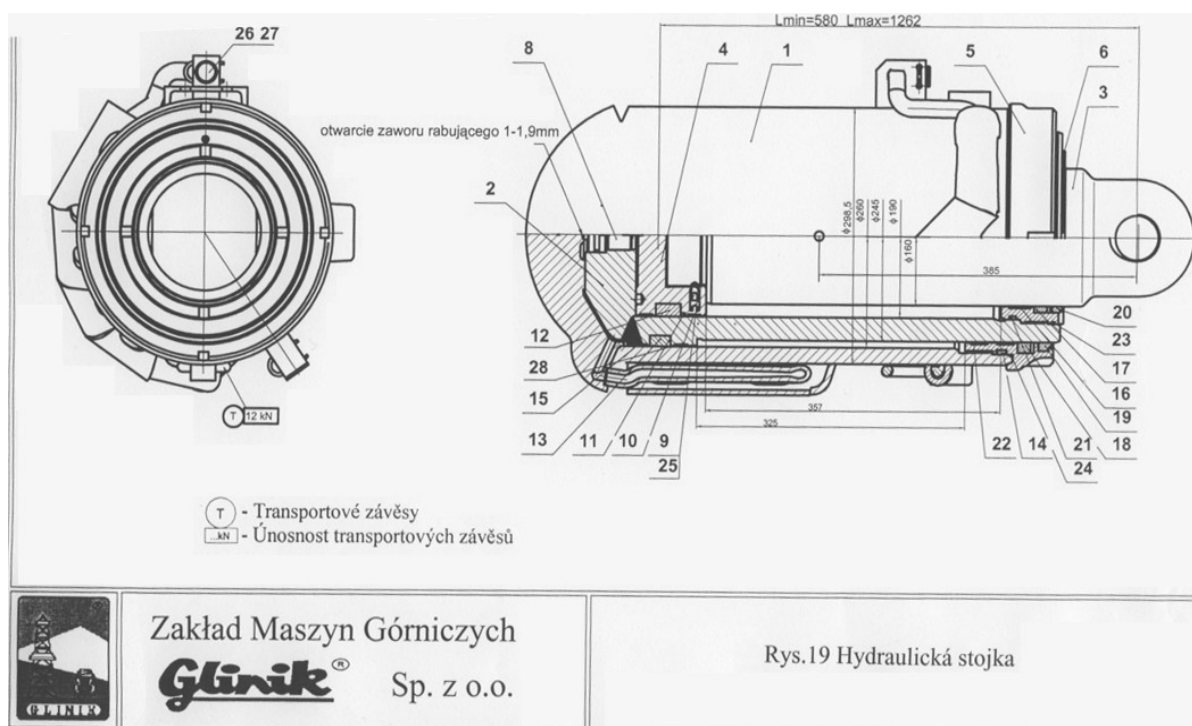
Z obrázku 7 je patrné, že k poškození válce nedocházelo ojediněle, ale převážně současně s okolními válci. Vzhledem ke konstrukci by se dalo předpokládat, že se poškodí vždy párová dvojice na jedné výztuži. K tomu došlo pouze v polovině zaznamenaných případů. Ze záznamů lze pouze vyčíst, že došlo k poruše, respektive k opravě. Přesnější popis poškození chybí.

## 2.2 Porucha hydraulické stojky

Po dvouletém provozu mechanizované výztuže GLINIK došlo na hydraulickém systému ještě k jedné vážné závadě. Na hydraulické stojce, která se nacházela přibližně v třetině porubu, se objevila trhlina. Roztržení stojky bylo ojedinělé, ale na několika dalších stojkách došlo ke zvětšení průměru vnějšího pláště.

Tato práce se zabývá poruchami na MV GLINIK, proto byla i tato porucha zařazena mezi řešené cíle. Pro řešení byl navržen postup, jehož prvním krokem se měl stát kontrolní výpočet deformací a napětí hydraulické stojky. Důležitou podmínkou byla definice materiálu, ze kterého byl plášť hydraulické stojky vyroben. Podobně jako v prvním případě s rohovým válcem, nebylo možné získat od výrobce potřebnou výkresovou dokumentaci a materiálové určení pláště hydraulické stojky. V období stanovení tezí této práce byl zpracován model na základě odečtených rozměrů ze sestavného výkresu z technicko-provozní dokumentace (obr. 8).

Tato část práce byla kromě vedoucího práce konzultována i s odborníkem na výpočty metodou konečných prvků panem doc. Ing. Karlem Frydrýškem Ph.D. (působícím na Katedře pružnosti a pevnosti, Fakultě strojní, VŠB-TU Ostrava).



**Obr. 8** Zdrojový výkres pro zpracování modelu hydraulické stojky [2]



### 3 CÍLE DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Během dvouletého provozu mechanizované výztuže v dobývacím komplexu GLINIK/DBT na Dole Paskov se projeví dvě zcela rozdílné závady na hydraulickém systému. U obou závad není přesně známa příčina. Mezi provozovatelem a výrobcem tak logicky vzniká spor, kdo má na sebe za vzniklou situaci vzít odpovědnost.

Má disertační práce by si měla vzít za cíl hlavně určení příčin poruch. V další fázi případně i navrhnout možná řešení.

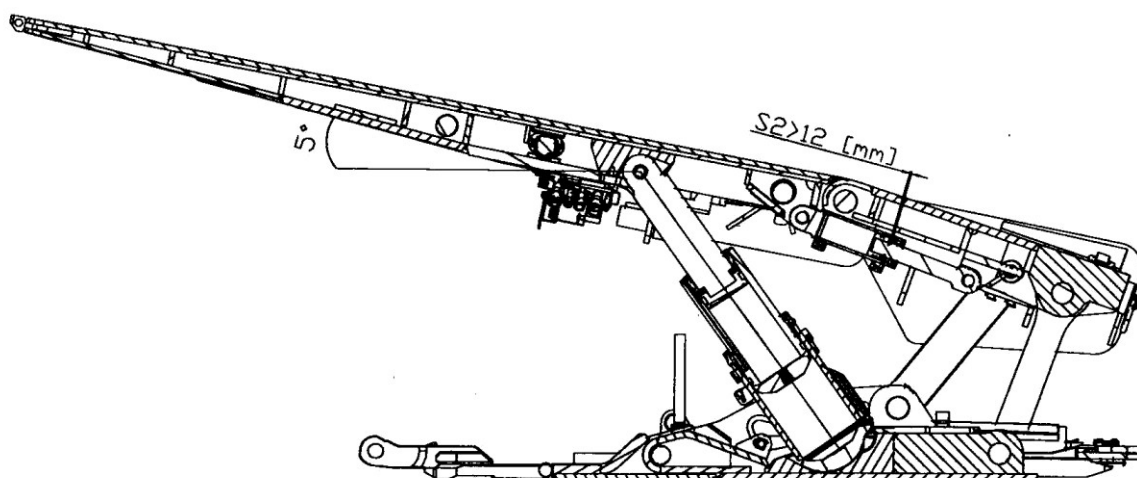
#### **Jednotlivé cíle doktorské práce:**

- Analyzovat příčiny poškození rohových válců.
- Navrhnout metodiku dalšího postupu, případně navrhnout řešení nebo opatření, která by vedla k odstranění poruch rohových válců.
- Za pomoci metod MKP ověřit správnost nadimenzování hydraulických stojek.

Celá práce bude rozdělena do dvou celků a výsledkem budou dva nezávislé závěry. První část vyhodnotí příčiny poruch na rohových válcích. Druhá část ověří kontrolním výpočtem hydraulickou stojku.

## 4 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ROHOVÝCH VÁLCŮ

Na základě prohlídky poškozených částí MV GLINIK a na základě poškozených rohových válců lze dojít k předpokladu, že v určité poloze dochází ke kolizi rohového válce se závalovým štítem. Tento předpoklad by ukazoval jednoznačně na konstrukční vadu. Je to současně i logická úvaha provozovatele dobývacího komplexu. Výrobce výztuže sice kolizi připustil, příčinu však nevidí ve špatné konstrukci, ale ve špatném provozování výztuže obsluhou. Argumentem je předepsaný maximální a minimální úhel sklonu stropnice v technicko-provozní dokumentaci. Obě limitní hodnoty jsou zachyceny na obrázcích 9 a 10. Shodně se jedná o úhel pěti stupňů, který se nachází mezi stropnicí a dosedací částí základového rámu. V obou těchto krajních polohách uvádí výrobce vůli 12mm (viz. kóty na obrázku). Dodržování těchto úhlů je dle provozovatele technicky sporné. Provozovatel a výrobce se tak neshodli na příčině kolize. Na základě posouzení jednotlivých tvrzení a uskutečněné analýzy je možné konstatovat několik úvah.



**Obr. 9** Maximální přípustný úhel sklonu stropnice [3]

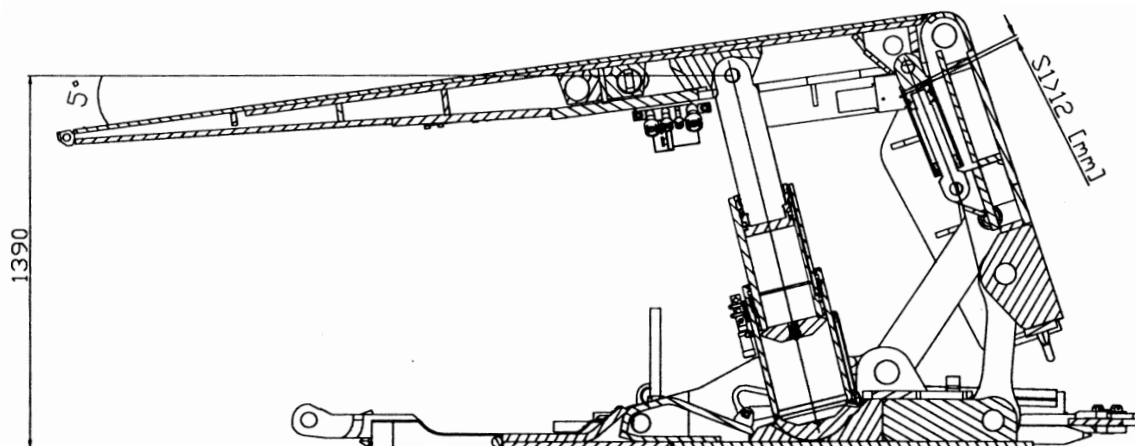
### Úvaha první

Nedodržení předepsaných úhlů dle obrázku 8 by vedlo k vysunutí pístu z pístnice a poškození ucpávky. Tato možnost by vysvětlovala poškození rohových válců zařazených v první skupině poškození. K poškození válců zařazených v dalších dvou skupinách podle této úvahy dojít nemohlo, protože ve všech případech k poškození ucpávek nedošlo a nebyly by ani vysvětleny značné deformace na oku pístnice.



## Úvaha druhá

K obdobné úvaze dojdeme i v případě porušení okrajové podmínky dle obrázku 10. Píst se dostane na dno pístnice a může dojít k vylomení dna případně i k deformaci oka pístnice. Bohužel poloha, která je zachycena na obrázku, nevysvětluje zřetelnou kolizi na pístnicích. Tato kolize byla zaznamenána ve všech případech válců zařazených do druhé a třetí skupiny.



**Obr. 10** Minimální přípustný úhel sklonu stropnice [3]

## Úvaha třetí

Jednotlivě mohou nastat oba předchozí případy za situace, kdyby byl rohový válec navržen jako příliš dlouhý nebo příliš krátký (jeho uložení by bylo s příliš velkou nebo malou roztečí). Současně by nemohlo dojít ke všem typům poškození.

## Úvaha čtvrtá

Hodnota 12mm není s ohledem na rozměry konstrukce a s ohledem na provoz v důlních podmínkách příliš velká. K jejímu snížení může dojít kompenzací vůlí v čepech, které jsou obecně pro důlní zařízení tohoto typu v rozmezí 0,5-2mm. Mohlo by tak dojít ke snížení mezních úhlů a vzniku kolizí.

## Úvaha pátá

Mechanizovaná výztuž je transportována do dolu v rozloženém stavu. Je to z důvodu velké celkové hmotnosti a rozměrů výztuže. K montáži dochází v důlním prostředí. Vzhledem k podmínkám by mohlo dojít k nesprávné montáži a následným poruchám.





## 4.1 Digitalizace mechanizované výztuže

V oboru kontroly a měření se setkáváme s pojmem „reverzní inženýrství“. Pro tuto disertační práci se při řešení stalo reverzní inženýrství základním zdrojem dat. Proto je konkrétnímu řešení a aplikaci věnován adekvátní prostor.

Vzhledem k požadované přesnosti a k charakteru objektů, které bylo třeba digitalizovat, je pro aplikaci nejvhodnější laserový typ skeneru. V českých podmínkách byla dostupnost těchto zařízení velice špatná. Výběr byl proto značně omezen. Vytipována byla tři zařízení. Vybrána musela být nejlevnější varianta, která se nakonec ukázala pro použití jako nejvhodnější.

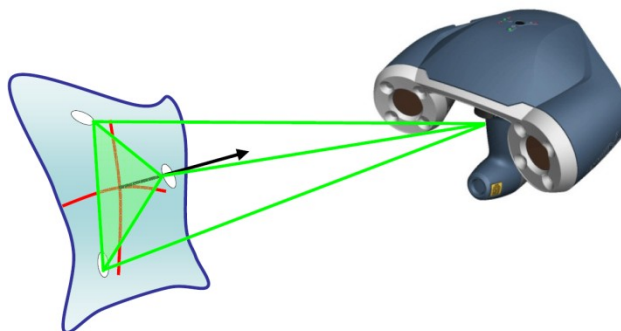
Pro snímání výztuže bylo použito zařízení „HandyScan - EXAscan“ (obrázek 11) zapůjčené od firmy SolidVision, která je výhradním dodavatelem pro Českou republiku. Tato firma souhlasila s bezplatným testovacím zapůjčením. Podmínkou týdenní zápůjčky bylo absolvování jejich standardního dvoudenního školení a nekomerční charakter práce. Obsahem školení bylo základní ovládání skeneru včetně kalibrování a práce se softwarem VXscan.

EXAscan je ruční laserový skener, který umožňuje vzájemný pohyb skeneru a tělesa během snímání. Patří do typové řady skenerů označovaných názvem HandyScan (zemí původu je Kanada). Snímání pomocí zařízení HandyScan je založeno na principu triangulace (obrázek 11). Na snímané těleso nebo na podložku se umístí reflexní značky, které slouží k orientaci. Značky snímají dvě kamery. Pokud obě kamery současně vidí minimálně 3 reflexní značky, je systém schopen automaticky určit polohu snímaného tělesa vůči skeneru. Je-li známa poloha, začne skener promítat na povrch snímané plochy laserový kříž. Ten snímají kamery a systém tak získá informace o vzdálenosti jednotlivých bodů plochy (osvětlené křížem) od skeneru. Vzájemná poloha referenčních značek je jedinečná, a proto je možné se kdykoliv vrátit k již nasnímaným částem a provést další snímání.

Data o poloze a ploše jsou zaznamenávána programem VxScan a zároveň jsou v reálném čase graficky zobrazována na obrazovce v podobě polygonové sítě. Obsluha skeneru má tak okamžitou představu o průběhu skenování. Při opakovaném snímání dochází k neustálému zpřesňování sítě (snímání například pod jiným úhlem). Vlivem chybných odrazů laserového paprsku dochází i



k zaznamenání chybných dat. Proto se na další datové zpracování používá speciální software. Ten umožní například záplatování děr, rekonstruování ploch nebo prokládání polygonové sítě jasně definovanými prvky (přímka, rovina, , ...).



**Obr. 11** Představení EXAscanu a princip triangulace HandyScanů [11]

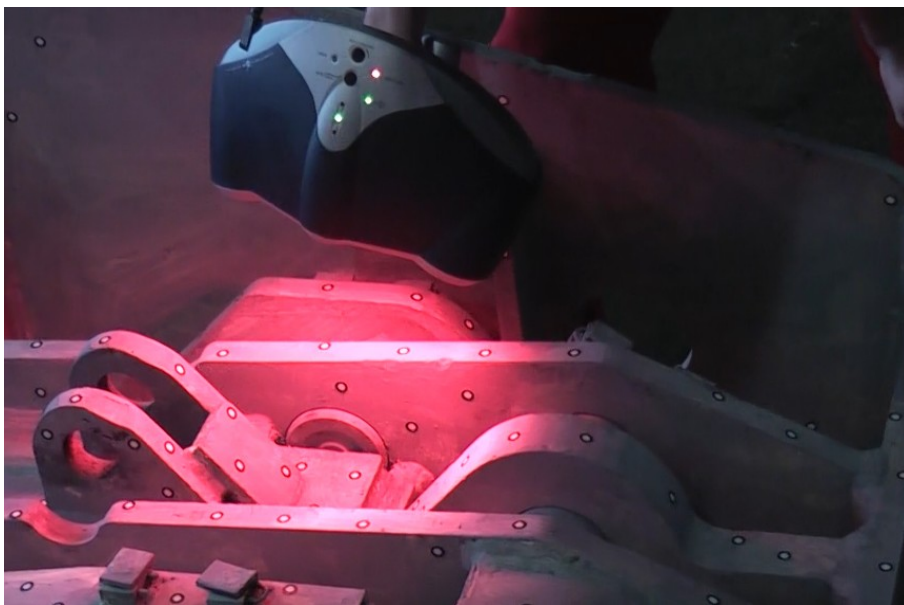
## 4.2 Zpracování naměřených dat v softwaru Geomagic Studio 12

Data získaná skenováním jsou v podobě tzv. mraku bodů nebo po transformaci v podobě polygonové sítě. V obou případech obsahují řadu chyb, nedokončených částí, děr a překryvů polygonové sítě (respektive shluku bodů). Nevýhodou pro další práci je i velikost datových souborů. Například celá naskenovaná část závalového štítu je složena ze 4,8 milionů trojúhelníků a zabírá velikost 220 MB. To vše vede k nutnosti upravit data pro následnou jednoduchou manipulaci. Softwaru k tomu určených je celá řada. Většina z nich je díky ceně pro tuto práci nedostupná.

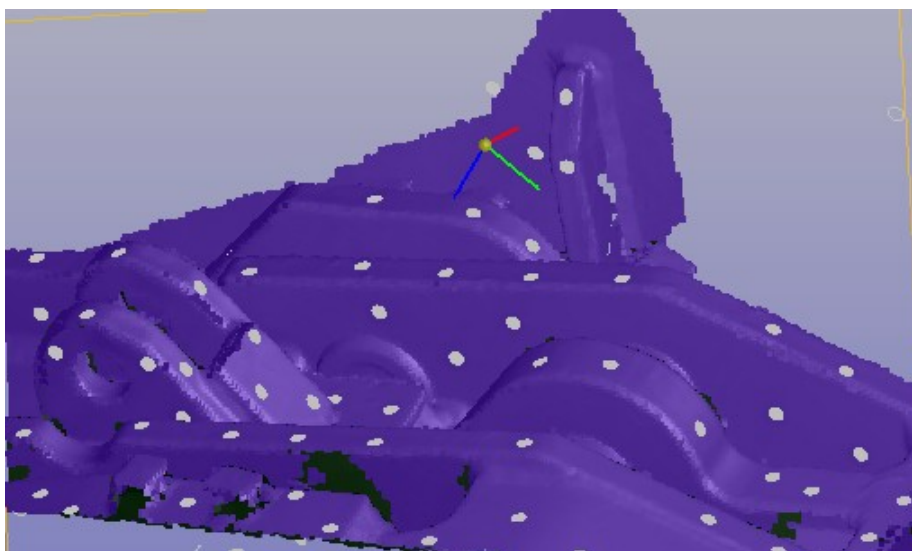
Postup zpracování naměřených dat bude vzorově popsán pouze na závalovém štítu. Pro základový rám a stropnici je postup analogický.

Z důvodu kontinuity se vrátíme k vlastnímu skenování. Na obrázku 12 je znázorněn průběh skenování části závalového štítu. Výsledek, který lze v reálném čase sledovat na obrazovce notebooku, je na obrázku 13. Jedná se pouze o grafické znázornění polygonové plochy pro orientaci během skenování.

Software VXscan dokáže kromě spolupráce se skenerem i jednoduché zpracování dat. Při vlastním skenování se průběžně nepotřebná data mazala a opravovala. Výstupem VXscanu je mrak bodů. Ten byl následně převeden na polygonovou síť. Tento úkon mohl být zároveň proveden v softwaru Geomagic Studio (dále GS). Výhodou by byla prvotní úprava surových dat již v bodové fázi.



*Obr. 12 Skenování závalového štítu použitím EXAscanu*

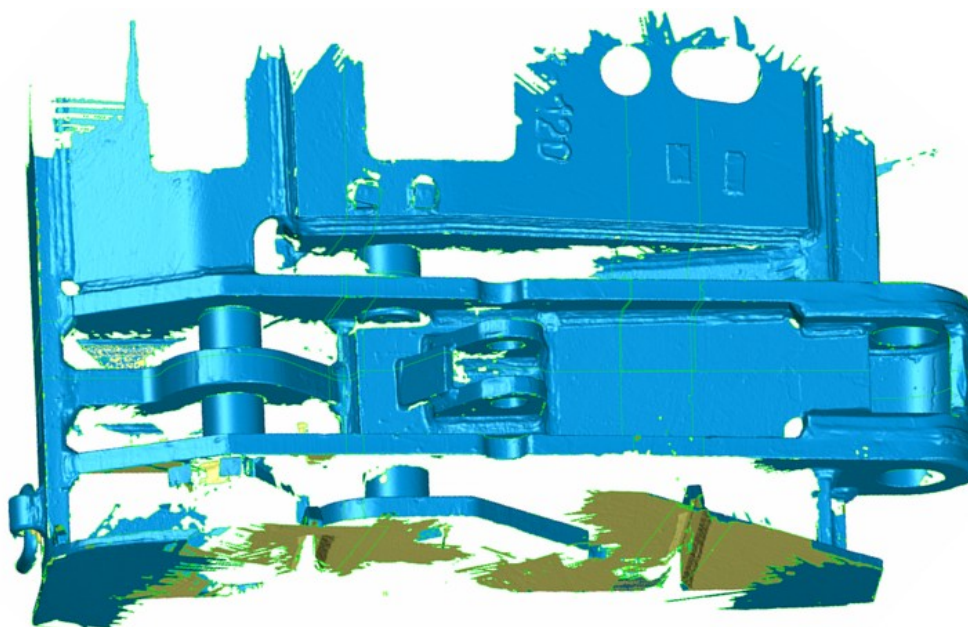


*Obr. 13 Grafické znázornění polygonové sítě v softwaru VxScan*

### **Spojení polygonových sítí**

Načtením šestice STL souborů vzniklo uskupení šesti polygonových sítí, které se navzájem překrývají (obrázek 14). Hranice jsou zvýrazněny tenkou zelenou čarou. Objekt tvoří 2,49 milionů bodů, respektive 4,77milionů polygonů. Poloha všech šesti souborů je jednoznačně určena vůči základnímu souřadnému systému skeneru (x, y, z). Protože všechny části mají společné reflexní (polohové) značky, mají i společný souřadný systém. Následné spojení v jedinou polygonovou síť je proto jednoduché a maximálně přesné. Výsledek spojení se liší od obrázku 14

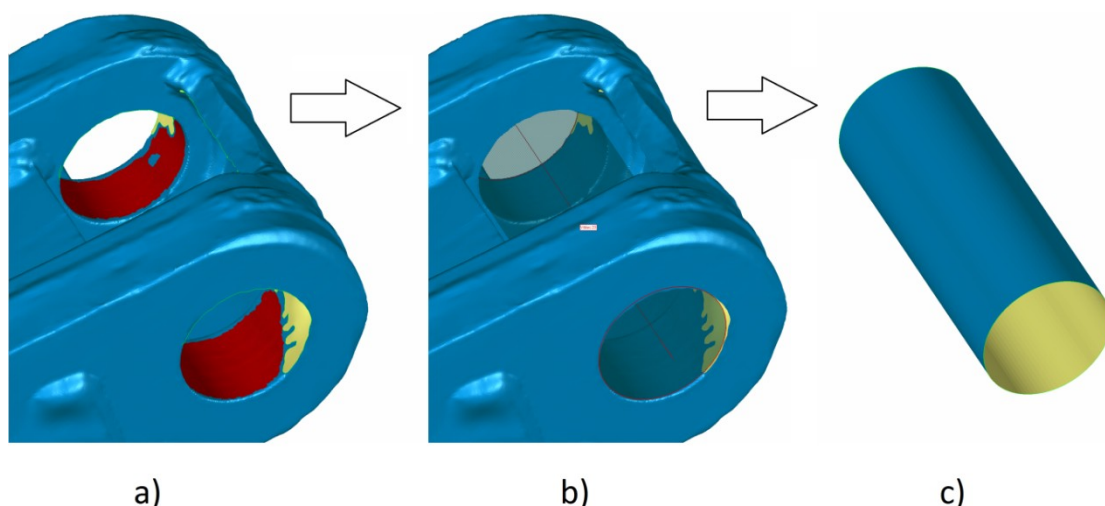
jen ztrátou vnitřních hranic. Dosáhne se tím samozřejmě mnohem víc, sloučením se ušetří 2,2 milionů polygonů. Další úspora je možná odstraněním nepotřebných částí, jako je boční kryt závalového štítu, osamělých polygonů a podobně. Nakonec se dostaneme na čtvrtinu původního počtu polygonů.



**Obr. 14** Načtená data závalového štítu do softwaru Geomagic Studio

Funkčními prvky na každém dílu jsou uložení pro čepy. Lokalizace jejich přesné polohy vzhledem ke zbytku výztuže je velice důležitá. Jednak pro následné vazby v 3D CAD softwaru a jednak pro přesné definování os, které jsou důležité pro výpočet kinematiky konkrétně měřené výztuže. V GS k tomu slouží funkce proložení části polygonové plochy přesným geometrickým tvarem. Obecně platí, že čím větší je povrch naskenované plochy tím přesněji lze tvar proložit. V případě níže uvedené aplikace postačí pouhá třetina (odhadem) pro určení průměru válcové plochy. Pro přesné určení směru osy vzniklé válcové plochy je důležitá maximální rozteč mezi krajními polygony výběru.

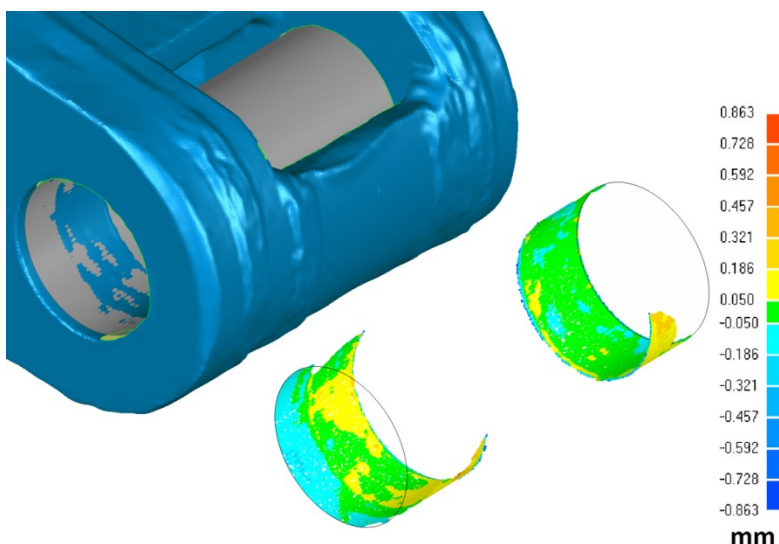
Na obrázku 15 je zkrácený postup aplikace při získávání prvku válce na závalovém štítu. Začíná se výběrem, kde je důležité postihnout jen polygony, které válcovou plochu charakterizují. Výběr je znázorněn červeně. Zkreslující polygony jsou zejména na okrajích a přechodech ploch. Pro zvýšení přesnosti je při výběru vynechána malá oblast, kde byla pravděpodobně nečistota (na obr. 15, vynechaná část v horní červené oblasti). Výsledná válcová plocha má průměr 91,39mm.



**Obr. 15** Proložení části polygonové plochy přesným geometrickým tvarem – válcem  
a) výběr oblasti polygonů odpovídající válcové ploše na výztuži; b) proložený přesný geometrický tvar v podobě válce; c) výsledná válcová plocha.

Otázka, která se nabízí, je definování přesnosti polohy osy vzniklé válcové plochy. Z parametrů skeneru je definována základní chyba maximálně 0,02mm. Proložení válce částí polygonové plochy může generovat další odchylku. V případě, že by byl naskenován a vybrán celý obvod otvoru, chyba skeneru a chyba proložení by se eliminovala. V tomto konkrétním případě, kdy je naskenována odhadem třetina válcové plochy, lze určit maximální odchylku součtem možné chyby skeneru a střední odchylky proložení. Střední odchylka proložení je vypočtena softwarem GS a má hodnotu 0,109mm. Reálný průběh odchylek v ploše je znázorněn na obrázku 16. Maximální odchylka polohy osy vůči skutečnosti je potom rovna 0,129mm. Obdobné maximální odchylky lze odhadovat i u ostatních otvorů. Vynásobíme-li tuto hodnotu 2x a přičteme maximální odchylku skenování pro daný díl, dostaneme se na hodnotu maximální chyby dvou nejvzdálenějších os objektu. Jedná se o chybu, která počítá s nejhorší variantou u všech dílčích chyb. Příklad závalového štítu s hodnotou maximální chyby 0,424 je možno považovat za nejhorší. Její vliv je s ohledem na konstrukci minimální. Vzhledem k průhybům v oblasti pružné deformace při zatížení výztuže a vzhledem k vůlím, které jsou v čepovém spojení dílů, můžeme chybu vzniklou skenováním zanedbat. Nutno dodat, že hodnota chyby 0,424mm u závalového štítu je čistě teoretická. Skutečnou lze odhadovat na poloviční nebo třetinové hodnotě.

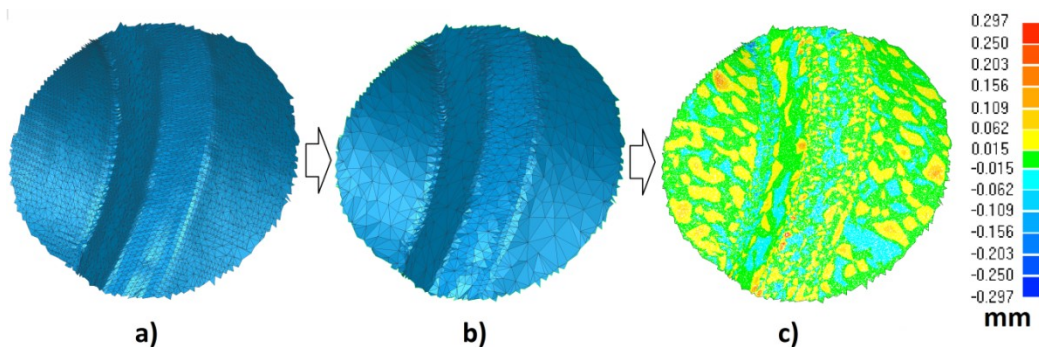




**Obr. 16** Odchylka proloženého válcového prvku od původní naměřené polygonové sítě

### Redukce počtu polygonů

Při skenování vznikají velké datové soubory. Práce s nimi je obtížná, popřípadě nemožná (vztaženo na dnes běžně používané hardware). Přitom pracovat s polygonovou sítí, která má několik milionů prvků, je zbytečné. Velkou část polygonů lze spojit - redukovat, aniž by výsledný soubor dat byl citelně znehodnocen. Příklad si můžeme uvést na ideální rovině. V případě, že by došlo ke skenování ideálně rovné plochy, byla by výsledkem například milionová polygonová síť. Ta by šla nahradit několika polygony, a to bez vlivu na přesnost výsledku. Počet polygonů by určoval tvar okrajů plochy. Ideální rovinu skenovat nikdy nebudeme. Ve většině případů se bude jednat o různě zakřivené plochy. Proto se nabízí otázka: Jak se projeví redukce polygonů na přesnosti?



**Obr. 17** Vliv redukce polygonů na výslednou odchylku u zvoleného vzorku

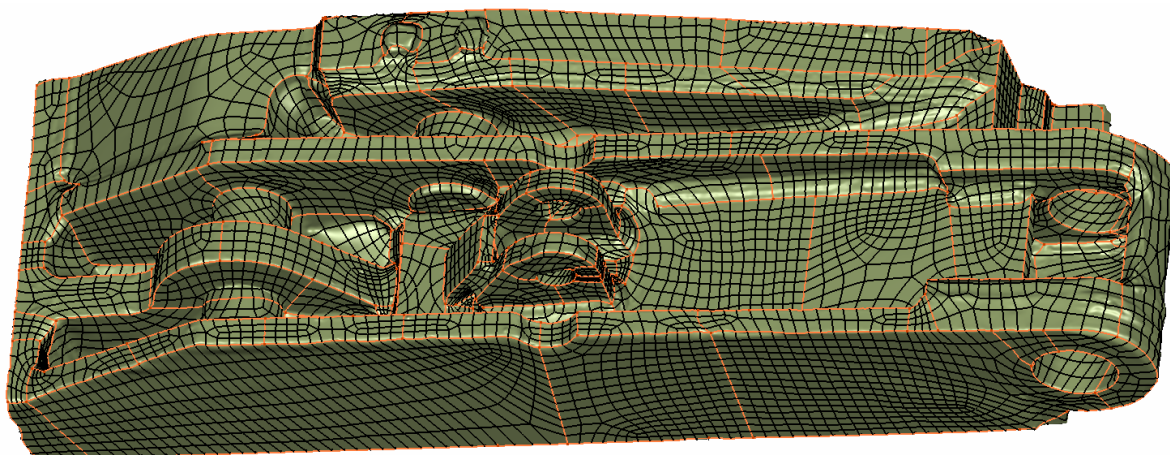
a) část závalového štítu s původní polygonovou sítí; b) část závalového štítu s redukovanou polygonovou sítí na 20%; c) odchylky mezi původní a redukovanou polygonovou sítí.



Na závalový štít byla aplikována celková redukce počtu polygonů ve výši 20% původní hodnoty (z 2,5 milionu na 500 tisíc). Abychom mohli určit, v jaké přesnosti se tato redukce pohybuje, musíme srovnat původní polygonovou síť s redukovanou. Pro zjednodušení bylo toto srovnání provedeno jen na vybraném vzorku závalového štítu. Jednalo se o stejné místo jako v případě ukázky záplatování otvoru. Výsledek celého pokusu je na obrázku 17. Rovinaté úseky byly decimovány více než rádius nebo hrana. Běžná odchylka se pohybuje do jedné desetiny milimetru. Standartní odchylka vypočtená softwarem GS je 0,027mm. Závěrem je možné konstatovat, že i tak radikální decimování sítě nemá v tomto konkrétním případě vliv na výslednou přesnost modelu.

### **Převod polygonové sítě na plochy**

Dalším datovým zjednodušením povrchu je spojení částí polygonové sítě a vytvoření přesně definované 3D plochy - NURBS. Protože konečným cílem je vytvoření CAD tělesa, je nutné k uzavřené plošné polygonové síti domodelovat boční a chybějící plochy. Vznikne tak uzavřená polygonová síť, respektive NURBS model tvořící objem. Uzavření sítě je důležité pro vytvoření objemu a následně tělesa. Při přechodu na plochy byly ponechány hrany v podobě zaoblených kontur (tj. odpovídající podoba naskenovaných dat). Tvorba (rekonstrukce) ostrých hran by byla možná, ale velice pracná. Na řešenou problematiku by tento krok neměl žádný vliv. Na obrázku 18 je výsledný uzavřený plošný model s vyznačením přechodových kontur.

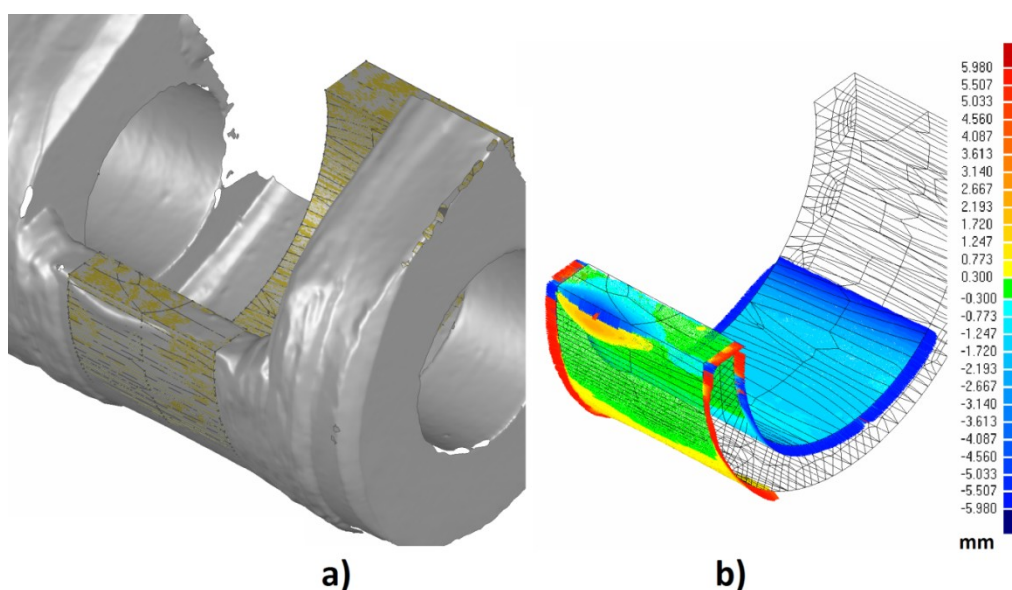


**Obr. 18** Uzavřený plošný model s vyznačením kontur

### 4.3 Rekonstrukce deformované části závalového štítu

Skenovaný závalový štít se při používání dostal evidentně do kontaktu s rohovým válcem. Poškozené místo bylo potřeba rekonstruovat. Z původní naskenované polygonové sítě byly vybrány části, které byly na okraji deformované oblasti, a zároveň do nich nezasahoval svár. Pro rekonstrukci byly tyto polygony považovány za neovlivněné deformací (resp. ovlivněné zanedbatelně). Polygony byly proloženy základními parametrickými prvky, tj. dvěma válci a jednou rovinou. Vzájemným ořezáním vznikl plošný model. Hrany byly ponechány (nezaoblovány), protože původní tvar plechu byl vypalován (pravděpodobně plazmou). Pro možnosti vazeb v Inventoru byla k modelu přidána osa spojovacího čepu (čep mezi štítem a stropem).

Přesnost rekonstruované části (resp. velikost deformace) byla kontrolována formou určení odchylek mezi původní polygonovou plochou a parametrickým modelem. Graficky je výsledek této kontroly patrný z obrázku 19. Rekonstruovaný prvek se v nepoškozené části shoduje s naskenovanými daty s odchylkou 0,3mm. Maximální deformace byla zjištěna 5,98mm. Přesnost měření lze určit ze standardní odchylky nedeformovaných částí. Dle softwaru GS je 0,15mm.



**Obr. 19** Rekonstrukce deformované části závalového štítu

a) původní polygonová síť s proloženými parametrickými prvky; b) výsledný model rekonstruované části závalového štítu





#### 4.4 Definování poškození rohového válce v CAD modelu

Testovaná sestava v softwaru Inventor byla složena z podsestav: základový rám, závalový štít a stropnice. K nim byly zjednodušeně domodelovány díly: píst a pístnice rohového válce, tři části teleskopické stojky a přední táhlo se zadním. Posledním prvkem, který byl do sestavy MV GLINIK doplněn, byla rekonstruovaná část závalového štítu. Složením vznikl prostorový model, na který lze zadávat tři parametry. První dva jsou výsuvy hydraulické stojky a rohového válce. Třetím pak úhel sklonu stropnice. Vždy dva libovolné parametry jsou volitelné v odpovídajícím rozsahu a třetí se automaticky dopočte.

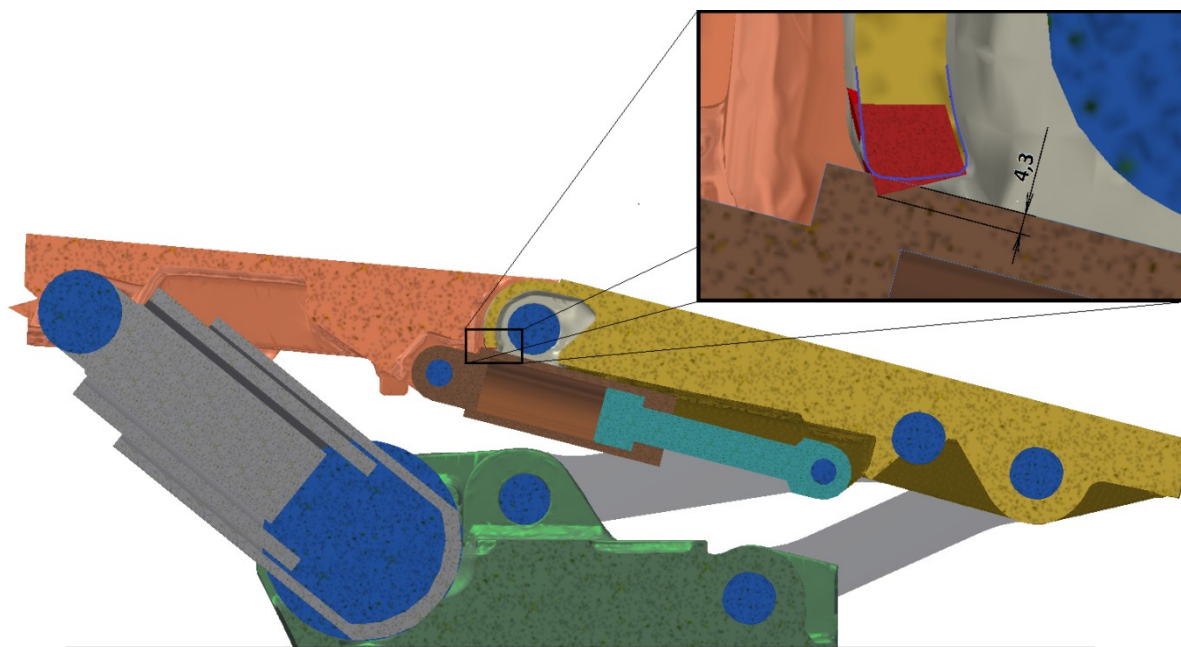
Při hledání kolizních stavů výztuže byla nejprve na rohovém válci nastavena maximální poloha vysunutí. Již v této situaci došlo ke kolizi pístnice válce se štítem. Postupně se snižovalo vysunutí tak, aby byla zjištěna mezní hodnota pro začátek kolize. Výsledkem je rozteč rohového válce s hodnotou 701mm. Konstrukční rozteč je přitom 705mm. Při nastaveném druhém parametru, kterým byl náklon stropnice na  $0^\circ$ , nebyla splněna minimální výška výztuže (600mm). Chybělo pouze 7mm, aby se výztuž dostala nad dorazy. Do reálné polohy, která může nastat, se výztuž dostala při sklonu stropnice  $0,2^\circ$ . Jedná se o zcela složenou výztuž.

Další mezní hodnotou je minimální provozní výška výztuže. Konstrukčním provedením má být výztuž plně funkční od výšky 0,75m. Obdobným postupem jako v předchozím odstavci byl určen mezní úhel stropnice při této výšce. Počátek kolize byl zaznamenán při mezním úhlu  $4,5^\circ$ . Jakékoliv zvyšování úhlu by mělo za následek kolizi rohového válce se štítem.

Český báňský úřad stanovuje minimální provozní výšku mechanizovaných výztuží na 0,8m. Proto byl stanoven mezní úhel i pro tuto výšku. Výsledkem byl úhel  $5,9^\circ$ .

Na obrázku 20 je extrémní situace, kterou kinematika MV GLINIK umožňuje. Rohový válec je vysunut na maximální hodnotu, tj. na maximální kolizní stav. Ten je patrný na přiloženém detailu (obrázek 20). Část závalového štítu zasahuje do pístnice rohového válce do hloubky 4,3mm. Úklon stropnice je nastaven na  $5^\circ$ , což je limitní úhel předepsaný v technicko-provozní dokumentaci. Konstrukčně dalšímu zvyšování sklonu stropnice brání pouze ucpávka pístnice. Působí-li na MV GLINIK

vnější síla od nadloží v oblasti čepového spojení štítu a stropnice, dojde k vytržení ucpávky pístnice rohového válce.



**Obr. 20** Řez 3D modelem při maximálním kolizním stavu, který dovoluje kinematika MV

#### 4.5 Řešení – návržení konstrukčních úprav

Samotné kolizi pístnice rohového válce se závalovým štítem lze zabránit jednoduchou změnou při montáži výztuže. Jedná se o obrácení polohy rohového válce. Pístnice se do prostoru uložení pístu vejde bez problémů. Opačně dosáhneme většího prostoru pro kolizní část závalového štítu. Nutno podotknout, že tato montážní úprava byla navržena samotnou obsluhou dobývacího komplexu. Srovnatelná a často i v jednom porubu spolupracující mechanizovaná výztuž Hemscheidt má tyto válce obráceně. Usoudili, že se bude jednat o montážní chybu. Při srovnání s montážní dokumentací tato chyba nebyla potvrzena. Podobný dotaz byl vznesen i na výrobce. Ten chybu odmítl. Přesto byly provedeny pokusy s obrácením rohových válců a nutno přiznat, že byly úspěšné.

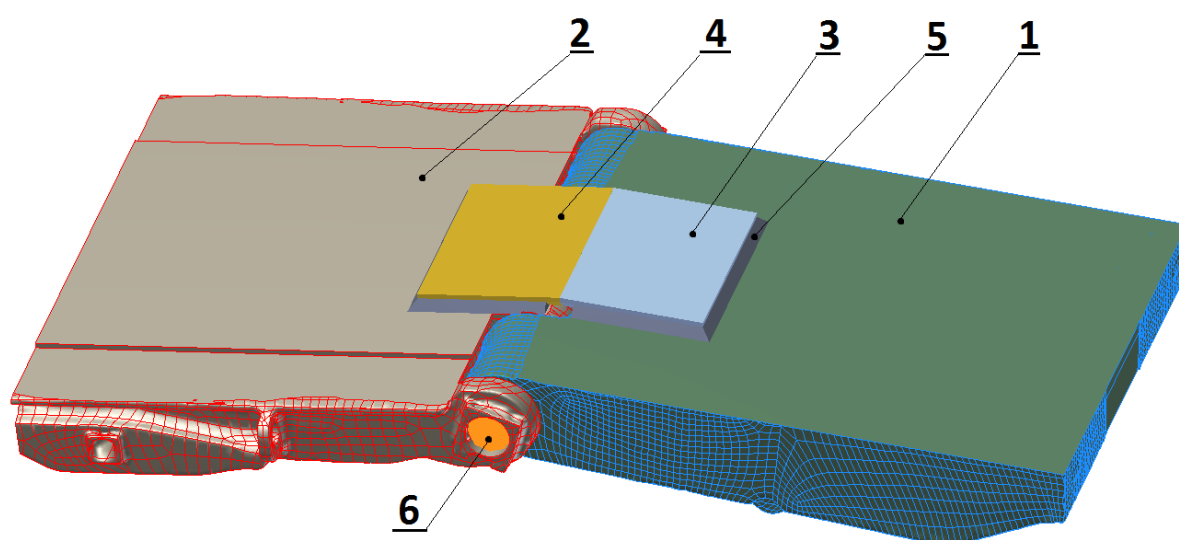
Otočení válců řeší kolizi. V případě, že nedojde k překročení limitního sklonu stropnice  $5^\circ$ , nebude k poškozování docházet. Hlídat v důlních podmínkách tak malý úhel je téměř nemožné a časově velice náročné. Proto navržená varianta



musí buď umožňovat větší mezní úhel, nebo dodržování tohoto mezního úhlu zajišťovat. Protože zvětšování pohyblivosti stropnice by mohlo narušit původně navrženou kinematiku, bude navržené řešení spočívat v zamezení porušování mezních úhlů.

Následující návrh takového mechanického zámku na MV GLINIK je pouze orientační a ověřuje jen možnosti samotného zámku. Pro realizaci konkrétního řešení by musela být k dispozici výkresová dokumentace. Důvodem je určení vnitřních výztuh jednotlivých svařenců.

Na obrázku 21 je navržen mechanický doraz, který je umístěn na výsledných modelech částí výztuže. Tvoří ho dva ocelové plechy o tloušťce 40mm a rozměrech 600x300mm. Jeden plech je přivařen na horní část stropnice a druhý na záda závalového štítu. Jejich poloha je zrcadlová vůči rovině procházející čepem v ose A. Zároveň leží v ose symetrie celé výztuže. Boční hrany v místě dotyku jsou celé zkosené pod úhlem 5°. Je tím zajištěn plošný styk obou dorazů. Plechy jsou přivařeny k výztuži polovičním V-svarem s vrcholovým úhlem 45° a překryty koutovým svarem z20. Tento typ svaru je umístěn na třech bočních stěnách. Na čtvrté straně je svar umístěn ze spodu desky na začátku přesahu desky a daného dílce. Čtvrtý svar je pouze v podobě koutového svaru z20.

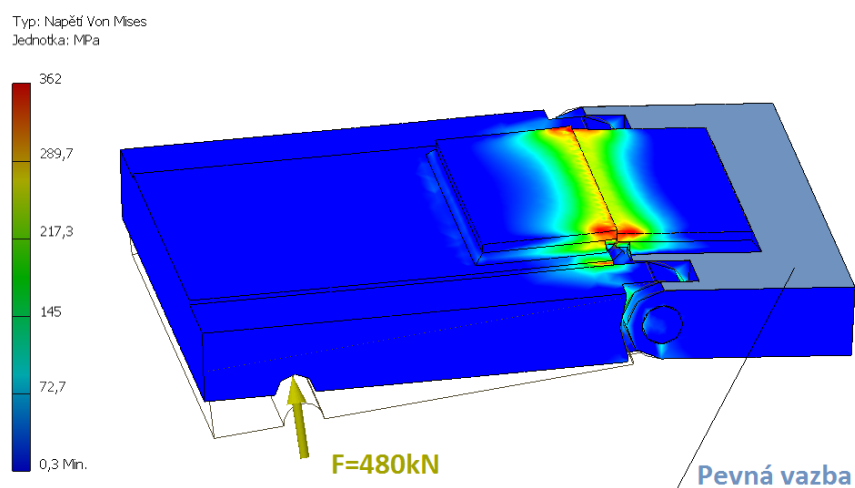


**Obr. 21** Umístění mechanických dorazů na stropnici a závalovém štítu

1 – část závalového štítu; 2 – část stropnice; 3 – doraz štítu; 4 – doraz stropnice;  
5 – svarová housenka; 6 – čep spojení stropnice a štítu.



Navržený mechanický doraz byl podroben pevnostní analýze v nadstavbovém modulu softwaru Inventor 2011. Protože modely dílů vzniklé pomocí skenování byly příliš složité na vytvoření sítě pro potřeby MKP, byl vytvořen zjednodušený model závalového štítu a model stropnice. Výpočet je navržen na extrémní situaci, při které by byl závalový štít zablokován nadloží a stropnice by měla nad sebou volný prostor (respektive dotýkala by se stropu nad čepovým spojením stropnice a štítu). Proto byla v sestavě pevná vazba umístěna na vnější stranu závalového štítu. Zatěžující síla byla umístěna ve vzdálenosti 805mm od osy čepu. Tato vzdálenost odpovídá vzdálenosti čepu od kulového uložení hydraulických stojek. Posledním krokem byl návrh zatěžující síly. Součet upínací síly obou stojek je 3398kN. Síla působí na stropnici pod úhlem 45°, takže reálná zatěžující složka je 2400kN. Toto zatížení je sice teoreticky reálné, ale pro mechanický doraz zcela destruktivní. Konstrukčně měnit nebo zvětšovat rozměry by vzhledem k zatížení nebylo možné (z hlediska konečné funkčnosti). Proto byl zvolen opačný postup. Na základě navržené styčné plochy dorazů byla určena maximální zatěžující síla od stojky. Velikost plochy dorazů byla odvozena od plochy, která je brána v úvahu při výpočtu čepů na otlacení. Výsledkem je potřebný průřez plechu mechanického dorazu, který je roven součtu průmětů kontaktních ploch čepů a ok závalového štítu. Na obrázku 22 je výsledek pevnostní analýzy, která je provedena s podmínkou dodržení meze pevnosti odpovídající běžným konstrukčním materiálům (cca 350Mpa). Výsledkem je zatěžující síla, která této podmínce vyhovuje –  $F=480\text{kN}$ . Hodnota odpovídá dvaceti procentům teoretické síly, kterou by mohla vyvinout hydraulická stojka.



**Obr. 22** Výsledek pevnostní analýzy při podmínce dodržení meze pevnosti



#### 4.6 Doporučení aplikovatelná v praxi

Ve sporu výrobce s provozovatelem vychází zjištěné výsledky většinou ve prospěch výrobce. V případě, že bude dodržen úklon stropnice do  $5^\circ$ , ke koliznímu stavu u měřené výztuže nedojde. Je to pouze v situacích, kdy mechanizovaná výztuž zajišťuje předepsanou mocnost.

K poškozování dochází v případech porušení mezního úklonu stropnice nebo v případě zatížení stropnice v nižších manipulačních výškách. Jednoznačným doporučením v těchto případech je aplikace mechanického zámku, který by tato zatížení dokázal absorbovat. Zároveň by zamezil porušování mezního úklonu stropnice.

Provozovateli je nutno dát za pravdu v případě argumentace, že provozování MV GLINIK neumožňuje sledování mezního úklonu stropnice. V technicko provozní dokumentaci je pouze konstatování, v jakém rozmezí se má výztuž provozovat, ale není tam návod, jak toho cíleně dosáhnout nebo jak zajistit kontrolu.

Poznámka: Při kontrole MV GLINIK byla k dispozici technicko provozní dokumentace ve třech jazykových verzích. V polském originále ani v německém překladu se neobjevují mezní úhly stropnice – neobjevují se zde obrázky 9 a 10.



## 5 ANALÝZA PROBLEMATIKY HYDRAULICKÉ STOJKY

Po dvouletém provozu mechanizované výztuže Glinik 06/15 POzS na závodě Staříč Dolu Paskov OKD, a.s., která je součástí pluhového dobývacího komplexu, došlo k netradiční poruše. Jednalo se o roztržení jedné hydraulické stojky. Při kontrole ostatních stojek v komplexu byly zjištěny dva případy deformace stojky. Došlo ke zvětšení průměru vnějšího pláště.

Aby se zjistily příčiny těchto poškození, byly provedeny kontrolní výpočty deformací a napětí hydraulické stojky. Dohoda s provozovatelem byla, že se zkontroluje stojka při dvou tlacích. Jeden odpovídal předpokladu, že pojišťovací ventily byly při tlaku 40 MPa funkční. Druhý předpokládal poruchu pojišťovacího ventilu a byl proto stanoven na tlak 60 MPa.

Podobně jako u rohových válců byl hlavní problém v nedostupnosti technické dokumentace. Výrobce ji odmítl dodat. Při tvorbě modelu se muselo vycházet z rysu 19 v technicko-provozní dokumentaci (naskenovaný rys je na obrázku 8). Chybějící rozměry byly zjištěny fyzickým měřením funkční hydraulické stojky (obr. 23).

Stěžejní pro výpočet bylo i zjištění materiálu, ze kterého byl plášť stojky vyroben. K jeho stanovení došlo na základě chemického rozboru v Akreditované zkušební laboratoři Vítkovice, Výzkum a vývoj, s.r.o. Vypracovat tento rozbor pro účely kontrolního výpočtu si zadal provozovatel.



**Obr. 23** Příklady destruktivního skeneru CSS-1000



## 5.1 Určení materiálových vlastností pláště hydraulické stojky

Ověření materiálových vlastností pláště hydraulické stojky bylo provedeno na základě chemického rozboru. Vzorek materiálu byl získán odvrtáním z pláště poškozené hydraulické stojky. Tento materiál byl pak v laboratoři podroben chemickému rozboru. Zkoušky provedla Akreditovaná zkušební laboratoř Vítkovice, Výzkum a vývoj, s.r.o. Na základě chemického rozboru byl vyhledán materiál, ze kterého byla hydraulická stojka vyrobena. Materiál byl určen pomocí „Lexikonu technických materiálů“. Jeho umístění v lexikonu je v části 3, díl 25, strana 1, 1.70033. Jedná se o Chromovou ocel určenou k zušlechťování. Označení oceli je 34Cr4. Chemické složení včetně mechanických vlastností je uvedeno v tabulce 2.

**Tab. 2** Chemické složení odpovídajícího materiálu

	Chemické složení [hmotnostní%]					
Ocel	C	Si (max.)	Mn	P (max.)	S (max.)	Cr
34Cr4	0,3 - 0,37	0,4	0,6 -0,9	0,025	0,035	0,9 – 1,2

**Tab. 3** Mechanické vlastnosti odpovídajícího materiálu

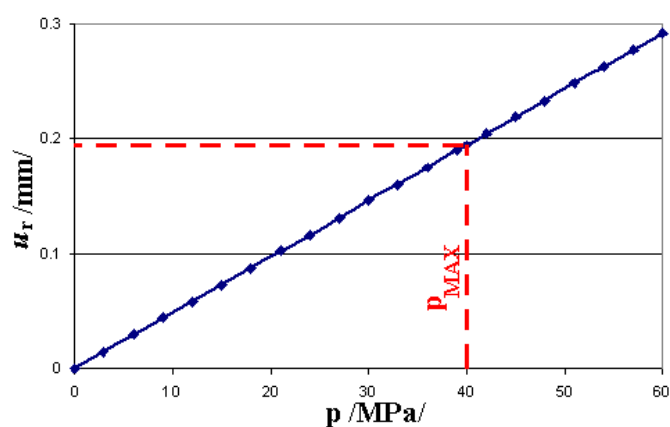
	Mechanické vlastnosti pro směrodatný průřez 40mm < d < 100mm, 20mm < t < 60				
Ocel	R <sub>e</sub> (min.) [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A (min.) [%]	Z (min.) [%]	KV (min.) [J]
34Cr4	460	700	15	45	40

## 5.2 Výsledky výpočtu pomocí MKP

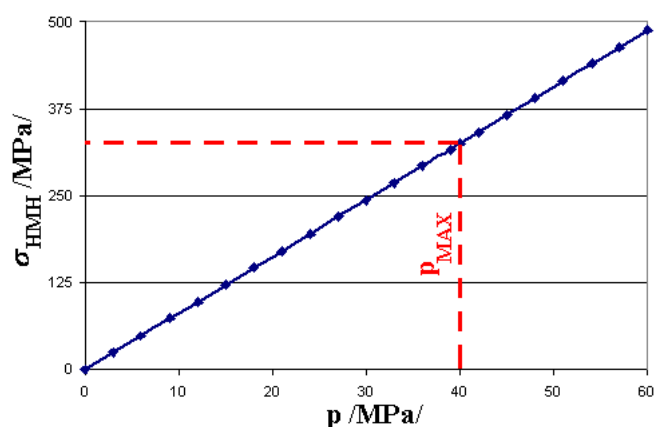
Celkový výpočet byl rozdělen na 22 kroků proměnlivé délky a řešen pomocí Newton-Raphsonovy metody. Úloha je vlivem složitých okrajových podmínek mechanického kontaktu, velkých deformací a materiálových závislostí nelineární. Na obrázku 24 je vidět průběh napětí dle teorie HMM ve vnějším plášti při tlaku  $p = 60$  MPa. Z výpočtu jsou zřejmé téměř lineární závislosti  $\sigma_{\text{HMH}} = f(p)$  a  $u_r = f(p)$ .



**Obr. 24** Napětí dle teorie HMH ve vnějším plášti při tlaku  $p = 60$  MPa



**Obr. 25** Vypočtené radiální posunutí vnějšího pláště v závislosti na tlaku



**Obr. 26** Vypočtené redukovaného napětí dle HMH vnějšího pláště v závislosti na tlaku





### 5.3 Zhodnocení výpočtu

Při maximálním provozním tlaku  $p = p_{MAX} = 60$  MPa vznikají ve vnějším plášti napětí  $\sigma_{HmH} = 488$  MPa. Tuto hodnotu je nutné porovnat s mezí kluzu a mezí pevnosti. Pro zadaný materiál, určený jako chromová ocel k zušlechťování 34Cr4, platí minimální mez kluzu  $R_p = 460$  MPa a minimální mez pevnosti  $R_m = 700$  MPa. Koeficient bezpečnosti vzhledem k mezi kluzu je roven  $k_{Rp} = 1.41$  a koeficient bezpečnosti vzhledem k mezi pevnosti je  $k_{Rm} = 2,15$ .

Při výpočtu se neuvažovala vlastní tíha, možná nesymetrie zatížení a také plastické přizpůsobení vlivem Hertzových tlaků v místě kontaktu ocelové stojky a podloží (zjednodušený výpočet). Proto mohou být skutečná napětí ještě mírně zvýšená.

Ve výpočtu se jedná o statické zatížení, kde by bezpečnost k mezi kluzu měla být 1,5. V případě dynamického zatížení (výskyt horských otřesů) by měla být bezpečnost na mez kluzu vyšší než 1,6 až do 2. Bylo rovněž uvažováno, že zvětšování průměru by mohlo být únavou materiálu. Vzhledem k tomu, že průměrný počet upnutí a uvolnění jednotlivých sekcí se pohybuje kolem 3000 cyklů, může se únava materiálu vyloučit.

### 5.4 Význam výsledků pro praxi a doporučení dalšího postupu

Pro další řešení by bylo vhodné udělat tahovou zkoušku, která by byla provedena na zkušebním vzorku vyrobeném z části pláště pístnice. Zpřesnění výpočtu by pomohlo řešení s plastickým přizpůsobením v místě styku stojky s podložím. Aplikace je podmíněna tahovou zkouškou.

Pohled by se měl zaměřit i na technologie svařování materiálu 34Cr4, který pro svařování vzhledem k obsahu manganu není zcela vhodný.

Dosavadní výsledky ukazují na individuální vadu materiálu u poškozených stojek. Fakt, že podobným poruchám nedošlo v následujících čtyřech letech, tuto teorii potvrzuje. Z tohoto důvodu není další kontrola nutná.



## 6 ZÁVĚR

Předložená disertační práce se zabývá problematikou závad, které se vyskytly na hydraulických prvcích mechanizované výztuže Glinik POsZ 06/15. Výztuž je nasazená na závodě Staříč Dolu Paskov společnosti OKD, a.s. Od počátku nasazení se začaly objevovat opakované závady na rohových válcích. Jednalo se především o deformaci pístnice, která vznikla kolizí mezi závalovým štítem a rohovým válcem. Poruchy obvykle doprovázelo i vytržení ucpávky rohového válce. Byly rovněž zaznamenány poruchy, které se týkaly pouze vytržení ucpávky. Za dvouleté provozování byla takto vyřazena z provozu čtvrtina ze všech rohových válců.

V průběhu řešení této disertační práce se na hydraulickém zařízení mechanizované výztuže Glinik vyskytla porucha na hlavní hydraulické stojce. Došlo k prasknutí největší pístnice (teleskopická konstrukce hydraulické stojky). Ve dvou dalších případech došlo k „nafouknutí“ tohoto dílce. Tato porucha byla rovněž řešena v této disertační práci. Závěry obou vzniklých poruch spolu nesouvisejí, a budou proto prezentovány odděleně.

### Hydraulická stojka

Závada na plášti hydraulické stojky se objevila po dvouletém provozování. V této době byl proveden kontrolní výpočet, který nedokázal špatné navržení hydraulické stojky. Vzhledem k faktu, že v průběhu dalších 4 let nedošlo k opakování této poruchy, je vysoce pravděpodobné, že se jednalo pouze o vadu materiálu v plášti pístnice hydraulické stojky.

### Rohové válce

Rohové válce plní při provozování mechanizované výztuže funkci, která umožňuje snadnější obsluhu celé výztuže. Poškození nebo vyřazení rohových válců neznamena nefunkčnost výztuže ani snížení jejího bezpečného provozování. Hlavním významem, který mají, je snížit čas na obsluhu a zjednodušit práci při řešení nestandardních podmínek (vylamování stropu, opravy, ...). Jejich konstrukce tomu odpovídá.



Problém s kolizí rohového válce a závalového štítu se nakonec nestal tím hlavním. Tento problém dokázala vyřešit montážní úprava v podobě převráceného uložení rohového válce. Bohužel to nevyřešilo vytrhávání ucpávek. V průběhu práce byla odhalena příčina kolize a situace, při kterých ke kolizi dojde. Výsledky odpovídají pouze měřené mechanizované výztuži, ale obdobné příčiny lze usuzovat i u ostatních výztuží. To, že k poruše nedochází u všech výztuží dobývacího komplexu, nebo fakt, že projevy poruch jsou rozdílné, je možné vysvětlovat výrobní tolerancí svařenců. Při konstruování byly navrženy příliš malé vůle mezi jednotlivými díly. Vlivem výrobních tolerancí tak dojde k rozdílným mezi výztužemi. Na prokázání tohoto tvrzení by bylo třeba naskenovat více mechanizovaných výztuží. Technické možnosti a finanční náročnost to neumožňují.

V případě vytrhávání ucpávek je nutné přiznat, že bude-li se výztuž provozovat v rozmezí předepsaných mezních úklonů stropnice, nedojde při běžném provozu k vytržení ucpávky. Problém je v zajištění toho, aby v obtížných důlních podmínkách bylo možné zamezit překračování mezních úhlů. V práci je navržená konstrukční úprava, která pomáhá ochránit rohový válec. Jedná se o přidání mechanického dorazu. Příčinou vytržení je překročení určitého mezního úhlu mezi stropnicí a závalovým štítem. Samotný rohový válec nemůže vzniklým silám odolat. Pro srovnání: rohový válec při plném zatížení dokáže přetlačit hydraulická stojka, která vyvine sílu odpovídající dvěma procentům své jmenovité upínací síly. S navrženým mechanickým dorazem se zvýší potřebná síla na dvacet procent. Po překročení i této hranice dojde k poškození jak válce, tak mechanického dorazu.

Komplexnější řešení pro konstruování mechanických výztuží podobné konstrukce spočívá ve zvýšení kinematických možností. Požadovat po obsluze kontrolu mezních stavů je v důlním prostředí jen teoreticky splnitelné. Samotný požadavek úhlového omezení by mělo hlídat elektronické snímání. Zároveň konstrukce musí dovolovat větší kinematický rozsah, aby při běžném provozu nemohlo dojít k překročení mezních stavů.

Konkrétním přínosem této práce pro praxi je odhalení poruch rohových válců a návrhy konstrukčních úprav. Důležitějším výstupem je samotný navržený postup, při kterém bylo využito nejmodernější techniky. Aplikací v podobných případech lze vyřešit patové spory mezi výrobcem a zákazníkem.



## Conclusion

The dissertation deals with the issues of malfunctions that appeared at hydraulic components of mechanical reinforcement Glinik POsZ 06/15. The reinforcement is placed in the facility Staříč at Paskov coal mine owned by OKD company, a.s. From the beginning of its placement there had been repetitive malfunctions of corner cylinders. Mainly it was a deformation of a piston rod which was caused by a collision of a cave-in shield and the corner cylinder. The malfunctions were usually followed by an extraction of the corner cylinder packing. During a two-year operating a quarter of all corner cylinders were taken out of operation.

Another malfunction occurred at the hydraulic mechanism of the mechanical reinforcement Glinik POsZ 06/15 during processing this dissertation. It was a malfunction of the main hydraulic prop. The largest piston rod (the telescopic construction of the hydraulic piston rod) burst. In next two cases this component was “inflated”. The dissertation also deals with this kind of malfunction. The conclusions that were made are not related to each other and therefore they will be presented separately.

### Hydraulic prop

The malfunction of the hydraulic prop occurred after a two-year operating. At that time an inspecting calculation was done and it did not prove anything wrong in the design of the hydraulic prop. Regarding the fact that during next four years this malfunction did not repeat it is highly probable that it was only a material defect in the piston rod coating of the hydraulic prop.

### Corner cylinders

The corner cylinders during operating of the mechanical reinforcement have a function that enables an easier operating of the whole reinforcement. Damaging or putting the corner cylinders out of order do not mean any non-function or decrease of its safety operating. The main importance they have is to reduce the operating time and make the work at solving non-standard conditions (breaking the ceiling out, repairs, ...) easier. Their construction responds to it.

The problem concerning the collision of the corner cylinder and the cave-in shield did not become finally the main one. It was solved by an assembly adjustment done by an over-turned placement of the corner cylinder. Unfortunately



it did not help to solve the problem concerning the extraction of packings. During working on the dissertation the cause of the collision and situations which lead to the collision were revealed. The results response only to the measured mechanical reinforcement however similar causes may be concluded at other reinforcements. The fact that the malfunction does not occur at all reinforcements of the mining complex or the fact that the demonstrations of the malfunctions are different can be explained by the production tolerance of weldments. During constructing there were designed too small clearances between the reinforcements. Unfortunately to prove this statement it would be necessary to scan more mechanical reinforcements. It is unable thanks to a technical possibility and financial demand.

Regarding the problem concerning the extraction of packings it is essential to stress that if the reinforcement will be operated in the range of required terminal ceiling joist tilts it will not come at normal operating to the extraction of the packing. Unfortunately the problem lies in the fact that in demanding mining conditions it is difficult to guarantee to stop exceeding terminal angles. The dissertation contains a designed construction adjustment that helps to protect the corner cylinder. It is an adding of a mechanical stop. The cause of the extraction is caused by the influence of an exceeding of a certain terminal angle between the ceiling joist and cave-in shield. The corner cylinder itself is not able to resist the arisen forces. An example to compare: the corner cylinder can be pushed at full loading by the hydraulic prop which exerts a force corresponding with 2% of its nominal clamping force. With the designed mechanical stop the needed force is increased to 20%. After exceeding this limit the cylinder as well as the mechanical stop are damaged.

More complex solution for the constructing of mechanical reinforcements of similar construction lies in an increasing of kinematic possibilities. To require after the operator to check terminal states is in the mining background possible only theoretically. An electronic sensor should control the requirement to the angle limitation. Furthermore, the construction must allow a larger kinematic range so that at usual operating it would not be possible to exceed the terminal states.

The concrete contribution of the dissertation for practice is the revelation of corner cylinders malfunctions and the suggestion of construction adjustments. The suggested step itself during which the most modern technique was used is a much more important output. With its application in similar cases it is possible to solve disputes between a producer and a customer.



## Použitá literatura

- [1] *Www.hornicky-klub* [online]. 17.01.2010 [cit. 2011-08-26]. Dul-paskov.jpg. Dostupné z WWW: <<http://www.hornicky-klub.info/foto/dul-paskov.jpg>>.
- [2] OLSZAŃSKI, M. Stützender und Abdeckender Strebausbau, 1.vydání, Glinik Sp.z o.o., Gorlice 2004, 114 s
- [3] OLSZAŃSKI, M. Technicko – provozní dokumentace, 1.vydání (překlad), Glinik Sp.z o.o., Gorlice 2004, 114 s
- [4] *CAD/CAM & CNC technologie* [online]. 25.09.2008 [cit. 2011-08-26]. *Zarnikov\_RE.pdf*. Dostupné z WWW: <[http://cadcam.fme.vutbr.cz/studentske\\_prace/Zarnikov\\_RE.pdf](http://cadcam.fme.vutbr.cz/studentske_prace/Zarnikov_RE.pdf)>.
- [5] *GEOMAGIC* [online]. 21.07.2008, [cit. 2010-08-20]. Video: Turbine blade analys. Dostupné z WWW: <[http://www.geomagic.com/en/products/qualify/video/turbine\\_blade\\_analysis.html](http://www.geomagic.com/en/products/qualify/video/turbine_blade_analysis.html)>
- [6] *Arizona overland Blueprint* [online]. 2006 [cit. 2011-08-26]. *MicroscribeX.jpg*. Dostupné z WWW: <<http://www.azoverlandblueprint.com/images/microscribeX.jpg>>.
- [7] Karbowski, K.: Micromachinig in Reverse Engineering System, In: New Ways in Manufacturing Engineering 2004, Prešov, Slovak Republic, 17-18 June 2004, ISBN 80-8073-136-5, p. 537-540.
- [8] Kašpar, M. – Pospošíl, J. – Štroner, M. – Křemen, T. – Tejkal, M.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví, Hradec Králové, Vega s. r. o., 2003, ISBN 80-900860-3-9.
- [9] Królikowski M. – Kwaczyński W.: 3D CAD Model of Komplex Shaped Foam Solid with Partial Use of Reverse Engineeing Techniques, 8<sup>th</sup> International Research/Expert Konfernce, Trends in the Development of Machinery and Associated technology TMT 2004, Neum, Bosna a Herzegovina, 15. – 19. September, 2004, str. 615, ISBN 9958-617-21-8.
- [10] Turňová, Z. – Lošák, G.: Bezpečnosť pri laserových technológiach (Safety of Laser Technologies), In: Nové smery vo výrobných technológiach 2004, Prešov 110 Slovak Republic, 17-18 June 2004, ISBN 80-8073-136-5, p. 584-589.
- [11] Reklamní materiály firmy SolidVision a.s., 2008, prospekt EXAscan.



## Seznam vlastních prací

### Publikační činnost

1. KUBÍN, Tomáš; GONDEK, Horst; Konstrukční návrh řetězového krytí na uhelném pluhu – oblý kryt. *Temag 2006*, Ustroň, UKiP J&D Gebka, Gliwice PL, 2006, s 123-130, ISBN 83-917265-7-6
2. KUBÍN, Tomáš; Síly a momenty ovlivňující výpočet kotvení dobývacích komplexů. *Workshop 2006 fakulty strojní*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, fakulta strojní, 2006, s38, ISBN 80-248-0999-0
3. KUBÍN, Tomáš; Alternativní metoda kalibrace laboratorního přístroje měřícího plasticitu koksovatelného uhlí. *Technická diagnostika*, 2006, roč. XV, č. z1, s24. ISSN 1210-311X
4. KUBÍN, Tomáš; Konstrukční návrh řetězového krytí na uhelném pluhu. *Transfer 2005 Využívanie nových poznatkov v strojárnskej praxi, 7 mezinárodná vedecká konferencia*. Trenčín: fakulta špeciálnej techniky, TU v Trenčíně, 2005, s 324-328. ISBN 80-8075-070-X
5. KUBÍN, Tomáš; Konstrukční problematika vytrhávání rohových válců u mechanizované výztuže GLINIK 06/15-POzS. *Transfer 2006 Využívanie nových poznatkov v strojárnskej praxi, 7 mezinárodná vedecká konferencia*. Trenčín: fakulta špeciálnej techniky, TU v Trenčíně, 2006, s 365-368. ISSN 1336-9695
6. UČEŇ, O., BLATA, J., KUBÍN, T. Chlazení radiálního válce. In *DIS2009 – Teória a aplikácia metód technickej diagnostiky*. Košice: ATD SR, 2009. 6 s. ISBN 978-80-553-0221-8.
7. UČEŇ, O., BLATA, J., KUBÍN, T. Nové trendy v konstrukci automobilů s ohledem na bezpečnost chodců. *Technická diagnostika*, 2010, roč. XIX, č. z1, s. 413-418. ISSN 1210-311X.
8. UČEŇ, O., KUNZL, P., BLATA, J., KUBÍN, T., Trends in Car Design with Reference to Pedestrians Safety. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské-Technické univerzity Ostrava, řada strojní*, 2010, roč. LVI, č. 1, s. 327-332. ISSN 1210-0471.
9. BLATA, J., UČEŇ, O., KUBÍN, T., KRISTEN, J. Optimalizace kabiny nakladače. *Zpravodaj Hnědé uhlí*. č. 3/2010. s. 15-18. ISSN 1213-1660.
10. UČEŇ, O., KUNZL, P., BLATA, J., KUBÍN, T., New Trends in Car Design with Reference to Pedestrians Safety. In *DIS2010 – Teória a aplikácia metód technickej diagnostiky*. Košice: ATD SR, 2010. 7 s. ISBN 978-80-553-0503-5.
11. KUBÍN, T., UČEŇ, O., BLATA, J., Využití metody reverzního inženýrství při řešení destrukce rohových válců na mechanizované výztuži Glinik 06/15 POzS. In *TEMAG 2010 – Trwalość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych XVIII*. Gliwice – Ustroň: Instytut Mechanizacji górnictwa wydziału górnictwa i geologii Politechniki Slaskiej, 2010, s 106-114, ISBN 978-83-61442-16-5.





## ŽIVOTOPIS

### Osobní údaje:

Jméno: Tomáš Kubín  
Datum narození: 20. 3. 1981  
Místo narození: Opava  
Národnost: česká



### Zaměstnání:

2008 – dosud Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní,  
Katedra výrobních strojů a konstruování

### Vzdělání:

2004 – dosud Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní  
• Obor doktorského studia: Stavba výrobních strojů a zařízení

1999 – 2004 Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní  
• Obor magisterského studia: Strojní zařízení dolů

1996 – 1999 Integrovaná střední škola – centrum odborné přípravy Opava  
• Zaměření: Mechanik strojů a zařízení

### Praxe:

02.2011 – 07.2011 Řízená praxe ve společnost VÍTKOVICE GEARWORKS a.s.

07.2004 – 09.2008 Dasfos CZr, s.r.o. – konstruktér-vývojář

## CURRICULUM VITAE

### Personal data:

Name: Tomáš Kubín  
Date of birth: 20. 3. 1981  
Place of birth: Opava  
Nationality: Czech

### Occupation:

2008 – now Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering  
• Department of Production Machines and Design

### Education:

2004 – now Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering  
• Field of PhD study: Construction of Production Machines and Equipment

1999 – 2004 Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní  
• Field of study: Mining mechanical facilities

1996 – 1999 Integrovaná střední škola – centrum odborné přípravy Opava  
• Field of study: Mechanic of machines and facilities

### Training:

02.2011 – 07.2011 Controlled training in Vítkovice Gearworks a.s. company

07.2004 – 09.2008 Dasfos CZr, s.r.o. – designer engineer - developer